

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-298724

(43) 公開日 平成4年(1992)10月22日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F 1	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K		
G 0 2 B 6/00				
H 0 1 S 3/07		7630-4M		
3/108		7630-4M		
		9017-2K	G 0 2 B 6/00	E
審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 8 頁)				

(21) 出願番号 特願平3-18969

(22) 出願日 平成3年(1991)2月12日

(31) 優先権主張番号 1 9 3 4 1 A / 9 0

(32) 優先日 1990年2月12日

(33) 優先権主張国 イタリア (1 T)

(71) 出願人 591024100

ピレリー・カビ・ソチエタ・ベル・アツィ
オーニPIRELLI CAVI SOCIET
A PER AZIONIイタリア共和国 20123 ミラノ、ピアツ
ツアレ・カドルナ 5

(72) 発明者 ジョルジョ・グラツソ

イタリア共和国ミラノ、20052 モンツァ、
ヴィア・カネシ 8

(72) 発明者 アルド・リグッツァイ

イタリア共和国 20146 ミラノ、ヴィ
ア・トルストイ 49

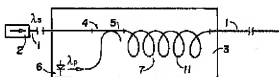
(74) 代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外4名)

(54) 【発明の名称】 単一モードの曲り能動ファイバを備えた光学増幅器

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 伝送信号の発光力とポンピング発光力が、能動ファイバの断面内にはほぼ同じ分布を呈し、蛍光ドープ剤が存在するファイバ領域にも集中する増幅器を提供する。

【構成】 増幅される伝送信号の波長において放射を有する各オプティカルコア内に蛍光ドープ剤を含有している能動ファイバ(7)より成り、前記オプティカルファイバ内へ発光ポンピング信号が入力され、この場合、能動オプティカルファイバ(7)が、ほぼ直線形状で、伝送波長における単一モードの光伝搬とポンピング波長における多重モードの光伝搬とを行い、長さの70%より大きい長さで、ポンピング波長において基本モードだけのファイバ自体内への伝搬に対応する曲り半径の曲り形状(11)で配置されており、これによって、ポンピング信号の高いモードを伝送することなく、伝送波長におけるモード直径を減少するファイバである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1個の発光ポンピング源(6)と、伝送信号を搬送する光学回線のファイバと発光ポンピング源とへそれぞれ接続された2個の入力部を有するダイクロイックカプラ(4)と、各光コア内に蛍光ドープ剤を含有している能動ファイバ(7)の一端へ接続された出力部(5)とより成り、伝送信号の波長範囲における放射を有し、ポンピング源の波長においてポンピングされる特に回線の光ファイバに直列に挿入可能な光ファイバ通信線に關した光学増幅器において、前記能動光ファイバ(7)が、ほぼ直線形状で伝送波長における発光単一モード伝搬とポンピング波長における発光多重モード伝搬とを行い、全長の70%より大きい曲り形状で配置され、ポンピング波長において基本モードだけのファイバ内の伝搬に対応する曲り半径を有するファイバであることを特徴とする光学増幅器。

【請求項2】 能動ファイバ(7)が20から140mmの範囲の曲り半径を有するように曲げられていることを特徴とする請求項1に記載の光学増幅器。

【請求項3】 能動ファイバの曲り半径が35から100mmの範囲にあることを特徴とする請求項2に記載の光学増幅器。

【請求項4】 伝送波長が1520から1570nmの範囲にあり、ポンピング波長が980nm(±10nm)であって、能動ファイバ内の蛍光ドープ剤がエルビウムであることを特徴とする請求項1に記載の光学増幅器。

【請求項5】 前記能動ファイバ(7)がポンピング波長において基本モードだけのファイバ自体内の伝搬に対応する曲り半径を有する少なくとも1つの曲り部分(11)を有し、前記部分が非曲り部分(16)に隣接し、曲り部分の長さすなわち曲り部の長さの合計が能動ファイバの全長の70%より大きいことを特徴とする請求項1に記載の光学増幅器。

【請求項6】 能動ファイバ(7)がポンピング波長において基本モードだけのファイバ自体内の伝搬に対応する曲り半径を有する単一の連続した曲り部分(11)を有し、非曲りファイバ部分(16)が能動ファイバの両端部のいずれかの端部または両端部に存在することを特徴とする請求項5に記載の光学増幅器。

【請求項7】 能動ファイバ(7)がその全長に沿ってポンピング波長において基本モードだけのファイバ自体内の伝搬に対応する曲り半径に従ってまた端部(16)から離れて曲げられており、前記端部は実質的に曲りがなくまた400mmより小さい長さをそれぞれ有することを特徴とする請求項6に記載の光学増幅器。

【請求項8】 実質的に曲りが無い端部(16)が200mmより小さい長さを有することを特徴とする請求項7に記載の光学増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光増幅器に關して、特に詳しくは、伝送波長において単一モードの能動ファイバ(active fiber)を使用する通信回線用光増幅器に關する。

【0002】

【従来の技術】希土類イオンなどの特定の物質を使用して得られたドープ処理コアを有する光ファイバは、レーザー発生源及び光学増幅器としての使用に適して励起放射特性を有することが知られている。

【0003】具体的には、これらのファイバは、ポンピング波長と呼ばれている特定の波長の光源により光が送られており、この波長は、ドープ剤の原子を励起エネルギー状態、すなわちポンピング帯へ励起して、原子は極めて短時間にその状態からレーザー放射状態へ自然に衰退し、レーザー放射状態で原子は比較的長時間で存続する。

【0004】レーザー準位の励起状態にある非常に多くの原子を有するファイバ内を、前記のレーザー放射状態に相当する波長の光信号が通過すると、その信号により、励起原子が低準位へ遷移し、その放射光は、前記信号と同じ波長を有する。従って、上記の種類のファイバは、信号の増幅を行うため、具体的には、例えば、通信回線のファイバを長距離通過した後、減衰した伝送光信号を高準位へ戻すのに適し光学回線増幅を行うために使用される。

【0005】上記の種類の光学増幅器は、例えば、同一出願人の名前で、1989年10月24日出願のイタリア特許出願No. 22120A/89から知られており、その特許では、能動ファイバは、伝送波長とポンピング波長のいずれにおいても単一モード型であると設定されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、伝送波長とポンピング波長のいずれにおいても単一モードであるこれらのファイバは、ファイバの断面において発光力が異なる分布を呈しており、詳細には、伝送信号の発光力が、ポンピング発光力(pumping power)が存在している領域よりもファイバ断面の大きい領域に分布している。

【0007】伝送信号増幅を誘起する蛍光ドープ剤は、ファイバのコアに集中しており、既知のファイバは、ポンピング発光力が前記領域に限定されるように設計されており、従って、その発光力は、レーザー放射準位で蛍光ドープ剤を励起するために完全に使用される。しかし、伝送信号の発光力の一部は、蛍光ドープ剤とポンピング発光力が存在する領域外のファイバへ伝送されるので、前記信号の一部だけが、信号が増幅されるファイバ領域で利用されるということになる。

【0008】上記現象は、単位ポンピング発光力当たり

3

の伝送信号の利得を意味する増幅器の増幅率を限定する。

【0009】従って、既知の増幅器について前記の効率を高めようとする、問題が発生する。

【0010】

【目的】伝送信号の発光力とポンピング発光力が、能動ファイバの断面内にほぼ同じ分布を呈し、蛍光ドープ剤が存在するファイバ領域にも集中する増幅器を提供することを目的としている。

【0011】光学増幅器、具体的には光ファイバ回線に直列に挿入可能な光ファイバ通信回線用として、少なくとも1個の発光ポンピング源と、伝送信号を搬送する光ファイバ線と発光ポンピング源とへそれぞれ接続した2つの入力部を有するダイクロイック接合器と、蛍光ドープ剤を各オプティカルコアに含有している能動ファイバの一端に接続した出力部より成り、伝送信号の波長範囲で放射したポンピング源の波長でポンピングし、能動光ファイバが、ほぼ直線形状をなして、伝送波長で発光単モード伝搬とポンピング波長で発光多重モード伝搬を行い、曲がった形状をなして、全長の少なくとも70%以上で配置され、曲率半径が、ポンピング波長で基本モードだけのファイバ内の伝搬に対応するファイバであることを特徴とする前記光学増幅器を提供することが、本発明の目的である。

【0012】

【課題を解決するための手段】曲がった能動ファイバの曲率半径は、20~140mmの範囲にあり、好適には、能動ファイバの曲率半径は、35~100mmである。

【0013】好適な実施例においては、伝送波長は1520~1570nmの範囲にあり、ポンピング波長は980nm(±10nm)であって、能動ファイバ内の蛍光ドープ剤は、エルビウムである。

【0014】具体的には、能動ファイバは、ポンピング波長において基本モードだけの状態にあるファイバ内の伝搬に対応する曲率半径を有する少なくとも1個の曲がった部分を有し、その部分は曲がっていない部分に隣接しており、曲部分の長さ、あるいは、曲がった部分の長さの合計が、能動ファイバの全長の70%より大きい。

【0015】能動ファイバには、好適に、曲率半径がポンピング波長において基本モードにあるファイバ内の伝搬に対応している単一の連続した曲部分が形成されており、非曲部分の部分は、能動ファイバのいずれかの一端か、または両端にある。

【0016】本発明による光学増幅器の特定的好適実施例において、能動ファイバは、その全長にわたってポンピング波長において基本モードだけの状態にあるファイバ内の伝搬に対応する曲率半径で曲がっており、ほぼ曲りのない端部から離れ、長さは40mmより短く、好

4

適には、ほぼ曲りのない端部の長さは、200mmより短い。

【0017】

【実施例】光学通信ファイバの信号を増幅するために、光ファイバを採用している増幅器は、使い易く使用されている。前記増幅器の構造は図1に示されており、図1において、1は、信号レーザーエミッタにより発生した波長 λ_s の伝送信号が送られる光学通信ファイバを示している。一定の長さの通信線を通して減衰した信号は、光学増幅器3へ送られる。光学増幅器3は、基本的にダイクロイック接合器4より成っており、接合器4は、信号出力側ファイバ5において、ポンピング・レーザ・エミッタ6により発生した波長 λ_p のポンピング信号へ接続している。接合器より伸長したファイバ5に接続した能動ファイバ7は、信号増幅器要素を構成し、その後、信号は再び通信線ファイバ1へ再び誘導され、その目的地へ向かって進行する。

【0018】光信号の増幅を行う能動ファイバ7の製作には、シリカ系光ファイバが使用され、これは光放射の発生に適した蛍光材が添加されており、光放射は信号の存在する状態で励起され、これによって光信号は増幅される。

【0019】蛍光材としては、 $Er:Os_2$ が使用上便利であり、これは、通信信号の遠隔伝送に便利な周波数において、レーザー遷移と呼ばれている遷移を励起する。

【0020】ファイバのシリカ系格子結晶内のエルビウムイオンの使用可能なエネルギー状態を、信号により表した上記のファイバに関して、図2が示しているように、伝送信号の波長 λ_s より低い「ポンピング」周波数 λ_p において、光を能動ファイバへ誘導すると、ファイバのシリカ系格子結晶内のドープ剤として存在する一定の数の Er^{3+} イオンが、ポンピング帯と呼ばれる「励起された」エネルギー状態8へ遷移し、そこから、状態イオンは、レーザー放射単位を構成しているエネルギー準位へ、自然に衰退する。

【0021】帯域8から準位9への遷移は、熱放射に伴い、これはファイバの外へ放射し（放射現象）、準位9から基底準位10への遷移は、レーザー放射準位9のエネルギー値に対応する波長の光放射が発生することが知られている。レーザー放射準位にあるイオンを多量に有するファイバ内を、このような放射準位に対応する波長の信号が通過すると、この信号により、自然衰退の前に、前記イオンの放射状態から基底状態への刺激された遷移が起こり、カスケード(Cascade)現象によって、非常に増強された伝送信号の放射が能動ファイバの出口で行われる。

【0022】11で示されている縦断面で表されたファイバの端部が図4に示されている。コア12とクラッド13は、このようなファイバにおいて形成されており、異なる屈折率によって確認される。

5

【0023】増幅器の能動ファイバとして使用するため、Er³⁺のドープ剤がコア12に含有されている。

【0024】高い増幅利得を得るために、前記出願人のイタリヤ特許出願No. 22120A/89に開示されているように、増幅器の能動ファイバ7は伝送波長とポンピング波長のいずれにおいても単一モード形であることが便利である。

【0025】図3に示すように、前述の説明が意味していることは、前記特許に記載された教示にもとずいて、基本モードの伝搬だけがファイバ内に行われる、λカットオフとも呼ばれるファイバのカットオフ波長λ_{c1}が、伝送信号の波長λ_sよりも小さく、またポンピングの波長λ_pよりも小さいように、能動ファイバの大きさが定められることである。

【0026】ファイバのカットオフ波長を選択するための重要な値は、実質的に、開口数NAとコアの直径である。ステップインデックス形屈折率の断面またはこれに類似したものを有する開口数NAは、次のように定義される。

$$【0027】NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

ここで、n₁はファイバコアの屈折率であり、n₂はファイバクラッドの屈折率である。

【0028】ファイバのコアとクラッドの所望の屈折率は、ファイバが周知の方法により完了する前の形成体へ投入される主添加剤または屈折率調節添加剤、コア及びクラッド内の濃度を選択することにより得られることが知られている。この目的のために使用される添加剤は、一般に、GeO₂またはAl₂O₃より構成されている。

【0029】ファイバ内では、そのなかで単一モードの伝搬が行われる波長、すなわち、ファイバのカットオフ波長より大きい波長の光放射は、曲線PとSとにより図4に示された形の光線の半径方向の分布であり、形成された曲線は、ほぼガウス分布であって、最大強度I_{max}はファイバの軸に沿っており、ファイバの周辺に向かって値を限りなくゼロに減少している。

【0030】上記の分布にもとずいて、モード直径φ_mは、ファイバ内で光強度I(φ_m)がある直径として定義される。すなわち、

$$I(\phi_m) = 1/e^2 I_{max}$$

ここで、I_{max}は、仕様CCITT G. 652 (コンサルテイティブ・コミティー・インターナショナル・テレグラム・アンド・テレフォン)にもとずいて、ファイバ内の最大の光強度である。

【0031】図4から明らかにように、伝送される光りは、モード直径内に限定される。

【0032】効率のよい増幅を行うためには、蛍光ドープ剤が存在する場合、ファイバコア12内に高いポンピング力を有することが非常に重要である。従って、基底状態10におけるドープ剤の原子と比較して、ドープ剤

6

の高い分布反転、すなわち、より高いレーザー準位9における増幅に使用出来る高いパーセントのドープ剤原子が維持されなければならない。ドープ剤が存在しない場合のコアの外側へ伝送されたポンピング力は、高いレーザー準位において分布反転の端部に対しほとんど能動的でない。

【0033】発行ポンピング力の大部分が存在するファイバの領域へ伝送するために、伝送信号は、効率良く増幅されるように、ポンピング信号の分布と同様なファイバ内の半径方向の分布強度を、引き続いて有していなければならない。

【0034】従って、このために、ポンピング信号と伝送信号とのモード直径は、出来るだけ等しいことが必要である。

【0035】ポンピング信号と伝送信号の放射状光分布図が同一軸上に整置されている図4に示されているようなコア12とクラッド13を有するタイプの光ファイバにおいて、半径方向の光分布の曲線が図で線Sにより表されている伝送波長λ_sのモード直径φ_sは、分布曲線Pによりまたコア12の直径にほぼ相当する、ポンピング波長λ_pにおけるモード直径φ_pよりかなり大きい。これは、光信号の重要な部分が、ポンピングエネルギーが加えられ、またドープ剤が存在する能動ファイバの領域へ伝搬しないことを意味する。

【0036】実際に、図7に示すように、ファイバのカットオフ波長λ_cに近い波長値に関して、ほぼ一定でファイバコアの直径とあまり差がないモード直径が、より大きい値入に関して非常に増加することは、注目されるべきである。従って、ファイバがポンピング波長λ_pにおいて、例えば、エルビウム添加の能動ファイバを備えた増幅器の場合、980nm(±10%)において、単一モードに確実にあるようにするために、980nmより小さいカットオフ波長λ_cのファイバが使用されなければならない。これにより、伝送波長λ_sにおける非常に大きいモード直径が得られる。このモード直径は、ポンピング波長λ_pにおけるモード直径より非常に大きく、従って、伝送信号の大部分は、増幅されるファイバ領域へ伝搬しない。

【0037】上記の挙動は、能動ファイバが直線あるいはほぼ直線の形状である場合に、発生する。ここで、“ほぼ直線の形状”の用語は、ファイバが、光学的挙動を強く変える幾何学的変形を受けないことを意味する。前記の理由から、仕様(CCITT, インストラクションG. 652)に従って、ファイバ内の屈折率の断面にもとずいた理論カットオフ波長と、作動状態におけるカットオフ波長とを評価することが、規定されている。

【0038】特に、前記仕様は、配設されたファイバのカットオフ波長の測定の可能性を考慮に入れており、測定は半径140mmの単一のファイバのリングについて行われる。一方、この条件におけるカットオフ波長の検

7

出された変動は、理論値と比較して、かえって小さく、理論カットオフ波長に約5%以下の差が見込まれている。

【0039】本発明により、増幅器の能動ファイバが、伝送波長 λ_s においてのみ単一モード形で選択され、 λ_s より小さいカットオフ波長 λ_c の値を有するが、 λ_p より十分に大きく、これらは図3に示されている。

【0040】前記ファイバによれば、特に1520と1570nmの間にあって、エルビウム添加能動ファイバを備えた増幅器の使用に適し、またカットオフ波長に近い伝送波長におけるモード直径は、十分に小さく、ファイバコアの直径にかなり近いと思われる。次に、ポンピング信号の基本モードは、ファイバコアの直径に近い直径を有しており、従って、伝送信号力は、ポンピング信号と能動ドープ剤が存在するファイバ領域内に実質的に限定され、維持される。

【0041】能動ファイバは、図5と図6に示すように、増幅器を構成するコイル状で、例えば、円筒支持体またはこれに類似したものの回りに巻かれて、全長にわたって曲り形状で配置されている。ファイバの曲りは、本発明により、140mmより十分に小さい半径 R_c で選択され、これによって、基本モードだけが、上記波長 λ_c より小さい波長についてさえも、特に、ポンピング波長 λ_p についても、ファイバ内を伝搬することが出来る。

【0042】実際に、ファイバの曲りは、ファイバへ付加される曲りが一層小さくすると、すなわち、 R_c が小さくなると、次第に小さくなる波長に関して、基本モードだけを伝送することと同じことを行う。従って、与えられた波長に、特にポンピング波長に関して、ファイバ内の基本モードの伝搬が可能である曲り半径 R_p を形成することが出来る。

【0043】従って、能動ファイバに適した曲り半径 R_c は、上記半径 R_p 以下である。実際に、曲りは、ファイバの構造を機械的に脆弱化することにより形成されるので、曲りによってファイバが破壊するか亀裂が入ったりしがちであり、 R_p に等しいか、あるいは、これに近い曲り半径を使用することが適切である。

【0044】前記曲りについて適切な値を選択すると、ポンピング波長より大きいモードが能動ファイバから除去されるので、ファイバのなかでは、ポンピング信号の基本モードだけが作用して、カットオフ波長を伝送波長においてファイバの小さいモード直径となるように維持する。

【0045】このようにして、特に高い増幅率、すなわち、投入された単位ポンピング力当りの高増幅利得を得ることが出来る。従って、図8に示すように、短いファイバを使用して、所望の増幅を得ることが出来、図8では、980nmより小さいカットオフ波長 λ_c のファイバを使用して、980nmより小さいカットオフ波長

8

λ_c のファイバと同じ利得を得るに必要な長さ L_a よりかなり小さい長さ L_1 の能動ファイバにより、利得 G が得られる。

【0046】上記イタリア特許出願No. 22120A/89に開示された教示にもとずいて形成されたダイクロック結合器4において、ポンピング信号へ結合した伝送信号の搬送ファイバ5は、いずれの波長においても単一モード形である。従って、このファイバは、本発明による能動ファイバのモード直径より大きい伝送波長 λ_s のモード直径を有する。ファイバ5と11との間の溶接部は、このような直径の差により、伝送波長において減衰を示す。

【0047】ほかの減衰が、能動ファイバと通信線ファイバ1との間の溶接部に発生する。実際には、通信線ファイバとして使用される市場で入手出来るファイバは、前記の範囲1520~1570nmの伝送波長においてのみ単一モード形であり、容易な接合などを行うために、接合ファイバ5のモード直径以上のむしろ大きいモード直径となっている。

【0048】増幅器の総合利得 G_{ex} は、能動ファイバの内部利得、負の損失、または、異なるファイバ間の溶接部による減衰 A_s により与えられる。従って、この結果を得るために、利得 $G_{in}=G_{ex}+A_s$ が能動ファイバから必要とされる。

【0049】非常に小さいモード直径より成る本発明のファイバを使用すると、波長 λ_s においても単一モードである既知の能動ファイバと比較して、溶接により大きな損失を伴うが、これらの付加的損失は、得られた効率向上と比較すると、一般に無視出来るように見える。

【0050】能動ファイバを適切に使用する場合の最小曲り半径 R_c は、約20mmより大きく、この半径において、曲がったファイバの機械的強度は限界であり、さらに、接合部の溶接損失は、能動ファイバと、通信線または接合器から伸長したファイバのモード直径の間の大きな差によって、重要な値をとる。これに対して、140mmより大きい半径は、カットオフ波長の重要な移動に対しては余り有用でない。適切には $R_c > 3.5$ mmであり、さら適切には50mm $\leq R_c \leq 100$ mmである。

【0051】前記曲り半径に関連して、ファイバに対応する曲り半径で曲げられている場合、ファイバ自体の機械的強度に関して前記限界値に達することもなく、980nmのポンピング信号の単一モードの伝搬を可能にする直線状態のカットオフ波長の最大値は、約4 μ mのモード直径に対して、 $\lambda_c \approx$ 約1280nmである。曲り半径 R_c が50mmの場合、前記カットオフ波長の値は $\lambda_c \approx$ 約1100nmであり、このモード直径は約5.3 μ mに等しく、これに対して、ポンピング信号の基本モードは、直径が約3.8+4 μ mである。

【0052】ポンピング波長における直線状態の単一

ードファイバに関し、伝送信号の波長におけるモード直径は、 $6\mu\text{m}$ より大きい。

【0053】本発明による増幅器の能動ファイバの品質を最良の状態で使用する箇所は、設定された曲り半径で最適に曲げられなければならない能動ファイバの全長である。すなわち、曲り形状で配置されなければならない。例えば、図5に図示するように、ファイバ接合器5への溶接接合部15の直下流の各支持体にコイルを形成するように巻かれて配置される。

【0054】上記のことが可能でないか、または望ましくないならば、例えば、一般的にファイバ内の機械的脆弱点を形成している溶接部15へ接続している能動ファイバの曲がった形状により加えられた曲げ応力を避けるために、図6に示すように、能動ファイバの非曲り部分16があることは認められ、この対策によって、能動ファイバの曲げにより得られる利点が、少しも低下するものではない。

【0055】好適には、直線形状またはほぼ直線形状の能動ファイバの部分16の長さ L_r 、すなわち、上述の接合器の直下流の上に、 R_c より大きい曲り半径を有することは、 400mm より小さく、またさらに好適には、 200mm 以下である。このような長さのほぼ直線状のファイバは、通信線のファイバへの接合部に近く、増幅効率があり低下することなく、能動ファイバの反対の端部に使用することが出来る。

【0056】実際に、ファイバ内の高いモードの接合は、ファイバ内の経路長さに比例して行われ、従って、前述の長さの部分の後では、重要なポンピング力の転移は、能動ファイバ内では、基本モードから高いモードへ行われない。

【0057】これに対して、有用な成果、すなわち、ポンピング波長における単一モードの能動ファイバを備えた増幅器に関する増幅率の増加は、本発明により、前記の長さの部分に沿ってのみ曲げられている能動ファイバによって得ることも出来る。ただし、この曲げられた能動ファイバが、はかの理由による必要条件を満足するために必要とされ、ポンピング力の基本モードだけの伝搬に対応する曲り半径で曲げられたファイバの部分がある。このファイバの全長の70%より大きいと仮定した場合である。

【0058】構造上から、特に、増幅器の容積を縮小した限界内に維持するために、曲がったファイバが、能動ファイバの中間部分を構成するが、ファイバ自体の端部の溶接部に隣接した前後のファイバ部分も直線状の伸長部を設けることが出来る。しかし、個々の要件によって、能動ファイバは、いくつかの曲り部分をほぼ直線状の部分と交互に備えることも出来る。

【0059】事例のために、次の特性を有するエルビウム添加の能動ファイバが作成された。

【0060】

コア直径 $3.6\mu\text{m}$
開口数 $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ 0.23
 λ_c (理論的カットオフ波長) 1100nm
信号モード直径 $5.3\mu\text{m}$
エルビウム含有量 (Er_2O_3 の重量) 350ppm
上記ファイバにより、図1に図示された増幅器が作成され、この場合、ファイバは、全長が50mmで曲り半径Rを有する隣接しているコイルを形成するように曲げられた。この条件で、カットオフ波長の値が測定された。

【0061】 λ_c (R) (半径Rのカットオフ波長) 980nm 。
このファイバ増幅器は次の値を有した。

【0062】
ポンピング力 17mw
能動ファイバの長さ 8.4m
増幅器は、カットオフ波長 λ_c ($F=1100\text{nm}$ の通信線ファイバへ接続され、増幅する伝送信号が入力された。

【0063】
入力信号の信号力 -45dBm
増幅器の光学接合器には、伝送信号とポンピング信号とを伝送する、カットオフ波長 $\lambda_c=980\text{nm}$ のファイバが備えられた。

【0064】上記の構成より、次の増幅利得が得られた。

【0065】
 G_1 30dB
比較のために、同一構造より成る増幅器が、次の特性の能動ファイバを使用して作成された。

【0066】
コア直径 $3.6\mu\text{m}$
開口数 $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ 0.23
 λ_c (理論的カットオフ波長) 1100nm
信号モード直径 $5.3\mu\text{m}$
エルビウム含有量 (Er_2O_3 の重量) 350ppm

ファイバは、前述と同じ意味で、そのカットオフ波長に重要な変化を起すために、ほぼ直線状の状態を増幅器に使用された。

【0067】増幅器は次の値を有した。

【0068】
ポンピング力 20mw
能動ファイバの長さ 10m
前述の事例に類似した能動ファイバに送られて増幅される信号は、次の信号力を有した。

【0069】
入力信号の信号力 -45dBm
次の増幅利得が得られた。

【0070】

G₂

30dB

上記事例から明らかに、本発明による増幅器は、ほぼ直線状のファイバを使用した比較増幅器と同じ増幅利得を得ることが出来た。これには、短い能動ファイバ部分と低いポンピング力が使用されたが、非常に大きい効率を示した。

【0071】コイル状ファイバを設定した曲り半径に保持するために適した、ファイバ巻線用の支持構造は、どのような種類のものでよく、また増幅器の収納装置の構造上の特徴によるものでよく、従って、詳細については

10

説明されない。
【0072】多くの変更は、本発明の一般的特徴の範囲から逸脱することなく、行うことが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】能動ファイバを使用している光学増幅器を示す

図である。

【図2】図1の図による増幅器に使用される型のファイバのエネルギー遷移を示す図であり、遷移は、励起（レーザー）放射を発生するために使用されている。

【図3】ポンピング、伝送、及びカットオフの各波長の構成を示す図である。

【図4】光ファイバ内の光の強さの半径方向の分布を示す図である。

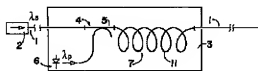
【図5】本発明による増幅器内の能動ファイバの配置の見取り図である。

【図6】図5に示すファイバの前面図である。

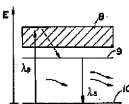
【図7】波長によって、ファイバ内のモード直径の変化を示す図である。

【図8】使用された能動ファイバの長さによる光学増幅器の利得を示す図である。

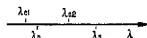
【図1】



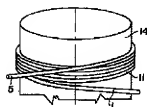
【図2】



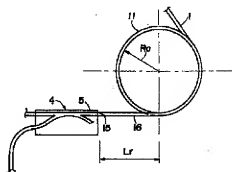
【図3】



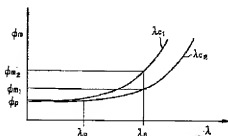
【図5】



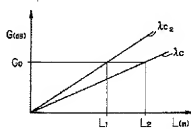
【図6】



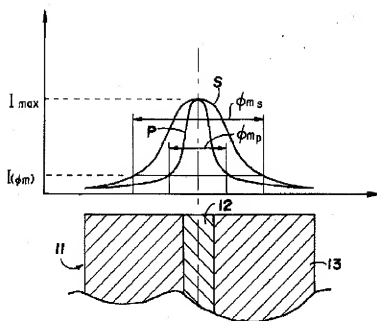
【図7】



【図8】



【図4】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-298724

(43)Date of publication of application : 22.10.1992

(51)Int.Cl. G02F 1/35
G02B 6/00
H01S 3/07
H01S 3/108

(21)Application number : 03-018969

(71)Applicant : CAVI PIRELLI SPA

(22)Date of filing : 12.02.1991

(72)Inventor : GRASSO GIORGIO
RIGHETTI ALDO

(30)Priority

Priority number : 90 19341 Priority date : 12.02.1990 Priority country : IT

(54) OPTICAL AMPLIFIER PROVIDED WITH BENT ACTIVE FIBER OF SINGLE MODE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an amplifier for making the light emission force of transmission signals and pumping light emission force present in the almost same distribution inside the cross section of an active fiber and be centralized in a fiber area where a fluorescent dopant is present as well.

CONSTITUTION: This amplifier is composed of the active fiber 7 containing the fluorescent dopant inside respective optical cores provided with radiation at the wavelength of transmission signals to be amplified and light emission pumping signals are inputted into the optical fibers. In this case, the active optical fiber 7 is in an almost linear shape, performs the optical propagation of a single mode at a transmission wavelength and the optical propagation of multiple modes at a pumping wavelength and is arranged in the bend shape 11 of a bend radius corresponding to the propagation into the fiber itself in only a basic mode at the pumping wavelength in a length larger than 70% of the length. Thus, the fiber for reducing a mode diameter at the transmission wavelength without transmitting the high mode of the pumping signals is attained.

